

Arto Laakkonen

Asennuskaapeleiden lämmönnousu kuormitetuina Passiivikivitalot-ulkoseinän läpivienneissä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

5.5.2015

| | |
|--|--|
| Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika | Arto Laakkonen Asennuskaapeleiden lämmönnousu kuormitettuna Passiivikivitalot ulkoseinän läpivienneissä 32 sivua 5.5.2015 |
| Tutkinto | insinööri (AMK) |
| Tutkinto-ohjelma | talotekniikka |
| Suuntautumisvaihtoehto | rakennusten sähkö- ja tietotekniikka |
| Ohjaaja | lehtori Matti Sundgren |
| <p>Tämän insinöörityön tarkoituksena on selvittää yleisimpien asennuskaapeleiden sähköasennusten läpivientien käyttäytyminen kovalla kuormituksella Passiivikivitalot-harkon ulkoseinän eristeen kohdalla. Tutkittaviksi asennuskaapeleiksi valittiin yleisimmin omakotitalojen sähköasennuksissa käytetyt asennuskaapelit, jotka ovat MMJ 3x1,5 S ja MMJ 3x 2,5 S.</p> <p>Asennuskaapeleista halutaan selvittää kuormitettavan johtimen lämpötila maksimikuormituksella asennuskaapelin ollessa eristeharkon sisällä. Olosuhteet pyritään luomaan mahdollisimman todenmukaisiksi, jotta tutkimuksen tulokset olisivat luotettavia.</p> <p>Molempien asennuskaapeleiden nollajohtimien lämpötilat mitataan harkon eristetilassa kahdella eri asennusmenetelmällä, joita on mahdollista käyttää myös todellisissa tilanteissa.</p> <p>Asennuskaapeleiden johtimia kuormitetaan niin kauan, kuin kuormitettavan johtimen lämpötila nousee, jotta voidaan varmistaa, mikä on korkein johtimen lämpötila, joka on saavutettavissa kyseisellä kuormituksella.</p> <p>Saatuja tuloksia verrataan asennuskaapelin valmistajan antamiin kuormitettavan johtimen käyttölämpötiloihin sekä olemassa oleviin sähkömääräyksiin ja standardeihin.</p> | |
| Avainsanat | MMJ, asennuskaapeli, maksimikuormitus, lämpötila |

| | |
|--|--|
| Author Title Number of Pages Date | Arto Laakkonen The temperature of the installation cables under load Passiiviki- vitalo exterior wall penetrations 32 pages 5 May 2015 |
| Degree | Bachelor of Engineering |
| Degree Programme | Building Services Engineering |
| Specialisation option | Electrical Engineering for Building Services |
| Instructor | Matti Sundgren, Senior lecturer |
| <p>The purpose of this final year project was to determine how the most common installation cable's temperature will respond when they are stressed with high load while installed in the middle of the insulation of Passiivikivitalot exterior wall.</p> <p>Two types of cables for research were selected. Installation cables MMJ 3x1,5 S and MMJ 3x2,5 S, because they are the most often used cables in the electrical installations of the detached houses.</p> <p>The main point in this research was to find out what will the temperature of the wire of installation cables be, when it is installed inside the insulationblock. The circumstances of the test environment were tried to keep as stable as possible to ensure that the outcomes of the research would be reliable.</p> <p>The temperature of neutral wires of the selected installation cables were measured when they were inside the insulationblock. Measuring was done by using two different systems to install the installation cables. These two different systems are applicable to be used also in the real life situations.</p> <p>The neutral wires of the selected installation cables were under load as long time, as it was necessary to make sure that the maximum temperature was reached with the maximum load. The results obtained were compared with the usage temperature recommendations of the cable supplied by the manufacturer as well as the existing electrical regulations and standards.</p> | |
| Keywords | MMJ, installation cables, maximum loaded, temperature, |

Sisällys

Lyhenteet

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Johdanto | 1 |
| 2 | Tutkimuksen tausta | 2 |
| 2.1 | Tutkimuksen ongelma ja tavoite | 2 |
| 2.2 | Tutkimuksen rajaukset | 2 |
| 3 | Passiivikivitalot | 3 |
| 3.1 | Passiivikivitalot harkon-rakenne | 3 |
| 3.2 | Neopor-materiaali | 6 |
| 4 | Tutkimuksen tavoitteet | 7 |
| 5 | Asennuskaapelin johtimen lämpötilan mittaaminen | 7 |
| 5.1 | Tutkimukseen valitut asennuskaapelit | 7 |
| 5.2 | Valmistelevat työt | 8 |
| 5.3 | Johdonsuojat | 9 |
| 5.4 | Asennuskaapeleiden ja Passiivitriplon valmistelut mittauksista varten | 10 |
| 5.5 | Mittauksessa käytetyt mittalaitteet | 13 |
| 5.6 | Johtimen lämpötilan mittaaminen | 16 |
| 5.6.1 | Kuorman valinta mitattaville johtimille | 17 |
| 5.6.2 | Johtimen lämpötilan mittaus | 19 |
| 6 | Tulosten analysointi | 20 |
| 6.1 | Kaapelin valmistajan antamat enimmäiskäyttölämpötilat | 20 |
| 6.2 | Asennuskaapeli MMJ 3x1,5 S, asennusmenetelmä 1 | 20 |
| 6.3 | Asennuskaapeli MMJ 3x1,5 S, asennusmenetelmä 2 | 21 |
| 6.4 | Asennustapa 1:n ja asennustapa 2:n lämpötilojen vertailu | 22 |
| 6.5 | Asennuskaapeli MMJ 3x2,5 S, asennusmenetelmä 1 | 23 |
| 6.6 | Asennuskaapeli MMJ 3x2,5 S, asennusmenetelmä 2 | 24 |
| 6.7 | Asennustapa 1:n ja asennustapa 2:n lämpötilojen vertailu | 25 |
| 6.8 | Asennuskaapeli MMJ 3x2,5 S, asennusmenetelmä 2, johdonsuojana C20 | 25 |
| 6.9 | Johtimista mitatut maksimilämpötilat | 26 |
| 7 | Johtojen kuormitettavuus | 27 |

| | | |
|-----|--|----|
| 7.1 | Johdon kuormitettavuus asennustavan mukaan | 27 |
| 7.2 | Johdon kuormitettavuus läpiviennin kohdalla | 28 |
| 7.3 | Johdon kuormitettavuus läpiviennin kohdalla, korjauskerroin huomioon | 29 |
| 8 | Kehitysideat | 30 |
| 9 | Yhteenveto | 31 |
| | Lähteet | 32 |

Lyhenteet

| | |
|-----------------|---|
| A | ampeeri, SI-järjestelmän mukainen yksikkö sähkövirralle |
| °C | celsiusaste on SI-järjestelmän mukainen lämpötilan johdannaisyksikkö |
| EPS | expanded polystyrene on paisutettu polystyreeni, muovipohjainen lämmöneriste |
| kg | kilogramma, on SI-järjestelmän mukainen yksikkö massalle |
| Cu | kuparin kemiallinen merkki |
| m ³ | kuutiometri on SI-järjestelmän mukainen tilavuuden yksikkö |
| λ | lämmönjohtavuus, SI-järjestelmän mukaisesti lämmönjohtavuudelle tulee yksiköksi watti / kelvin·metriä kohti eli W/(K·m) |
| U-arvo | lämmönläpäisykerroin |
| mm ² | neliömillimetri, käytetään johtimen pinta-alan ilmaisemiseen |
| I _n | nimellisvirta |
| PEX | polyeteeni, joka on valmistusprosessin aikana ristosilloitettu |
| PVC | polyvinyylikloridi on teollisuudessa laajalti käytetty muovi |
| % | prosentti on mitta, jota käytetään ilmaisemaan suhteellista osuutta tai määrällistä suhdetta |
| V | voltti, SI-järjestelmän johdettu jännitteen yksikkö |
| W | watti, SI-järjestelmän mukainen tehon yksikkö |

1 Johdanto

Tämä insinööritoimisto on tehty Metropolia Ammattikorkeakoulun talotekniikan koulutusohjelmassa. Koulutuspaikka on Espoon Leppävaaran yksikkö ja koulutuksen suuntautumisvaihtoehto on sähkösuunnittelu. Tämä tutkimus tulee Tampereella toimivan Passiivikivitalot-rakentajien käyttöön. Passiivikivitalot ei ole ollut tutkimuksen tilaajana, tutkimustyö on tehty työmailla esiin tulleen epävarmuuden selvittämiseksi. Ohjaajana tutkimuksessa toimi talotekniikan lehtori Matti Sundgren.

Tutkimuksen tekijä työskentelee (ja on omistaja) Insinööritoimisto Arto Laakkonen Oy:ssä, joka on pääasiassa pääkaupunkiseudulla toimiva rakennusvalvontaan, pääsuunnitteluun sekä sähköurakointiin ja -suunnitteluun keskittynyt yritys. Se on perustettu vuonna 2013, joten se on periaatteessa kohtalaisen uusi yritys. Yritys on kuitenkin toiminut ennen osakeyhtiöksi muuttamista nimellä Tmi Arto Laakkonen vuodesta 1999 alkaen. Yritys työllistää tällä hetkellä 4 työntekijää. Yrityksen toimipaikka on Helsingissä Vuosaarella.

Tutkimuksen tekijällä on paljon kokemusta Passiivikivitalojen rakennustyömailla vastaavana työnjohtajana toimimisesta, rakennussuunnittelusta ja sähköurakoinnista. Monilla työmailla on tullut vastaan ajatus Passiivikivitalot harkon lämmöneristävyyden vaikutuksesta sähköläpivienneissä asennettavan asennuskaapelin johtimien lämpenemiseen kovilla kuormituksilla.

Omakotitalojen sähköasennuksissa yleisimmin käytetyt asennuskaapelit ovat MMJ 3x1,5 S ja MMJ 3x2,5 S, putkettoman asennustavan yleistessä. Taloissa tehdään useita läpivientejä asennusjohtimille, joissa viedään kaapeleita ulkoseinälle useisiin eri tarkoituksiin. Esimerkiksi numerovalolle vietävällä kaapelilla ei ole normaalitilanteessa mahdollista ylikuumeta pienen kuormituksen vuoksi, mutta jos läpivienti on tehty pistorasialle, voi kuormitus on hyvinkin suurta. Viimeksi mainittu tilanne kaipasi selvitystä: Onko monesti käytännössä vastaan tullevissa sähköasennusten läpivienneissä palorisikin mahdollisuus? Paras tapa selvittää tämä ongelma, on tutkia sitä mahdollisimman oikeanlaisissa olosuhteissa.

2 Tutkimuksen tausta

Insinööritoimisto Arto Laakkonen Oy tekee paljon vastaavan työnjohtajan toimeksiantoja eri asiakkaille, jotka ovat pääasiassa yksityishenkilöitä ja ovat rakentamassa omakotitaloa. Yritys on tehnyt pitkään yhteistyötä kivialotoimittajan Passiivikivi-talot kanssa, jonka kautta Insinööritoimisto Arto Laakkonen Oy:lle on tullut paljon asiakkaita Passiivikivitalojen suosituksen pohjalta. Insinööritoimisto Arto Laakkonen Oy on suorittanut myös sähköurakointia moniin valvomiinsa Passiivikivitalot-kohteisiin.

Eri työmailla on tullut vastaan ajatus Passiivikivitalot-harkon lämmöneristävyyden vaikutuksesta sähköläpivienneissä asennettavan asennuskaapelin johtimien lämpenemiseen kovilla kuormituksilla. Vietäessä kaapeli numerovalolle se ei normaalitilanteessa ylikuumene pienen kuormituksen vuoksi. Pistorasialle vietävän kaapelin kuormitus voi olla hyvinkin suuri, jolloin läpivienti on yleensä kyseisen ryhmän asentamisen kannalta heikoin kohta hyvän lämmöneristyksen vuoksi. Tässä oli selvästikin epävarmuutta aiheuttava asia, joka kaipasi selvitystä, jotta voidaan olla varmoja, ettei riskejä ole tehtäessä sähköasennuksien läpivientejä Passiivikivitalot-työmailla.

2.1 Tutkimuksen ongelma ja tavoite

Passiivikivitalojen runkorakenne perustuu Neopor-harkkoon, joka on erittäin hyvä lämmöneriste. Valmiin Passiivikivitalot seinän U-arvo on 0,10. Harkkoon on helppo tehdä läpivientejä esimerkiksi sähköjohdoille ja putkille. Läpivienti tiivistetään huolellisesti uretaanivaahdolla, jolloin talon vaipasta saadaan tiivis eikä rakenteeseen tule lämpö- ja ilmavuotoja. Tämä myös saattaa mahdollistaa tietyissä olosuhteissa johtimen kuumenemisen suurilla kuormituksilla. Tässä tutkimuksessa pyritään selvittämään mahdollisimman todenmukaisissa tilanteissa kuormitetun johtimen lämpötila läpiviennin kohdalla sekä tutkimaan, nouseeko johtimen lämpötila liian korkeaksi kovalla kuormituksella ja aiheuttaako se vaaratilannetta.

2.2 Tutkimuksen rajaukset

Tutkimuksessa käytettiin yleisimpiä Suomessa omakotitalojen sähköasennuksissa käytettäviä asennuskaapeleita, eli MMJ 3x1,5 S ja MMJ 3x2,5 S. MMJ 3x1,5 S sisältää

kolme halkaisijaltaan 1,5 mm²:n kuparijohdinta (ruskea on vaihejohdin, sininen on nol-lajohdin ja keltavihreä on maadoitusjohdin), jotka on eritetty lyijyttömällä PVC-muovilla. Johtimien päällä on lyijytön täytemassa ja valkoinen lyijytön liukas LINYL® PVC-muovikuori. MMJ 3x2,5 S:n johtimet ovat halkaisijaltaan 2,5 mm² ja niiden värit ja rakenne sekä asennuskaapelin ja vaipan rakenne on tehty samoista materiaaleista kuin 3x1,5 S –asennuskaapelikin. [5.]

Tutkimuksen ulkopuolelle rajattiin putkellisella asennuksella tehtävät läpiviennit, jolloin sähköasennusputkeen olisi voitu asentaa muovilangat tai MMJ-asennuskaapeli, riippuen kyseistä sähköasennustilanteesta.

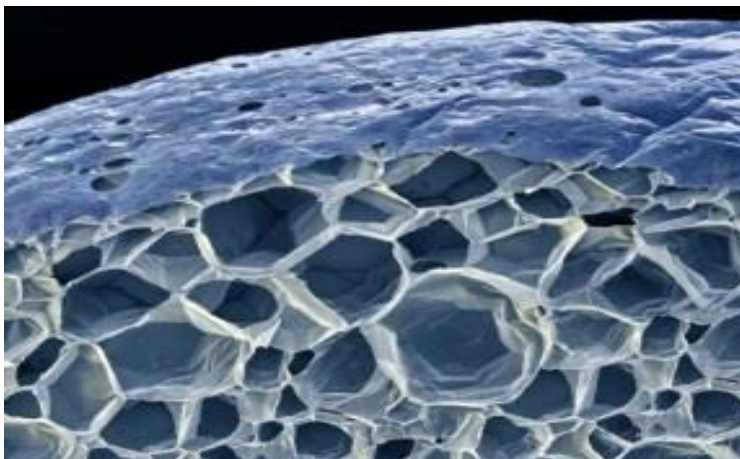
3 Passiivikivitalot

Passiivikivitalot on ensimmäisenä Suomessa keskittynyt kehittämään ja toimittamaan kustannustehokkaasti rakennettavia sekä kosteusturvallisia passiiviluokan kivitaloja, joiden lämmityskustannukset ovat moneen kertaan todistettu olevan lähes mitättömät. RTS-tutkimus 4/2013:n mukaan lämpötaloudessa Passiivikivitalot on valintatekijöillä mitattuna kivitalojen ykkönen. [2.]

Euroopan unioni on vaatimuksillaan vähentänyt huomattavasti autojen päästöjä ja energiakulutusta. Euroopan unioni tulee vaatimaan, että vuodesta 2019 alkaen kaikkien uusien rakennuksien EU:n alueella tulee olla on vähintään passiiviluokkaa. Tämän asian tiedosti Passiivikivitalojen toimitusjohtaja Esa Tommola jo kauan sitten ja aloitti vuonna 2004 kehittämään Passiivikivitalot-konseptia. [2.]

3.1 Passiivikivitalot harkon-rakenne

Passiivikivitalot-seinän erinomainen lämmöneritys perustuu paksuun, mutta kosteusturvalliseen rakenteeseen sekä erittäin hyvään Neopor-lämmöneristeeseen. Neopor pitää veden ulkopuolella antaen kuitenkin vesihöyryn tuulettua turvallisesti ja tehokkaasti lämmöneristeen läpi sisältä ulos. Neopor-rakententeen (kuva 1) erinomaisen lämmönpidättyvyyden takaa rakenteen sisällä oleva liikkumaton ilma. [2.]



Kuva 1. Neopor-rakenteen suurennuskuva [2].

Seinärakenne on keveytensä, mittatarkkuutensa sekä ponttijärjestelmän ansiosta nopea rakentaa. Seinän sisään valettava betoni antaa talolle kivialon ominaisuudet niin keston, turvallisuuden, huolettomuuden kuin myös tasa-lämpöisyyden suhteen.

Seinärakenne on yhtenäinen anturasta vesikattoon saakka, rakennetaan taloon kerroksia kuinka monta tahansa. Rakenne muodostuu sopivan helposti käsiteltävistä Passiivitriploista (kuvat 2 ja 3). Passiivitriplo täyttää EU-direktiivien viralliset vaatimukset ja tuote on läpäissyt kaikki vaaditut tarkistukset. Passiivitriplo on noin kolme kertaa suurempi kuin betonieristeharkot, joten se nopeuttaa huomattavasti jo kokonsa puolesta seinien pystytystä. Huolimatta suuresta koostaan, harkko painaa kuitenkin vain alle kolme kiloa.

Rappausalustana riittävän kovalatuinen Neopor on erinomainen, sillä se ei elä eikä näin vuosienkaan aikana aiheuta rappauspinnalle elämisen eikä rapautumisen kautta vahinkoa. Rappaus voidaan tehdä välittömästi seinän pystytyksen jälkeen, eikä tarvitse odottaa harkkoille tyypillistä kutistumista ennen kuin talo voidaan rapata. [2.]



Kuva 2. Passiivikivitalojen Passiivitriploharkko [4].

Seinärakenne voidaan pinnoittaa rappauksen lisäksi myös lautaverhouksella. Tuolloin puuverhouksen koolausrimat kiinnitetään seinään pitkillä ruuveilla tai nauloilla niin, että ne ulottuvat valutilaan saakka. Tämä tehdään ennen seinien betonivalua, jolloin vältetään myöhempi proppauskiinnitystarve. [2.]



Kuva 3. Passiivitriploharkko ja rakennesuunnitelman mukainen vaakaraudoite [4].

3.2 Neopor-materiaali

Neopor®-materiaalia voidaan kutsua EPS:n uudeksi sukupolveksi. Neopor®-materiaalilla on samat hyvät ominaisuudet kuin EPS:lläkin, mutta useita materiaaliominaisuuksia on edelleen kehitetty. Tärkeimpinä mainittakoon Neopor®-materiaalin lämmöneristyskyky, joka on 20 % parempi kuin EPS:llä. Tämä ominaisuus mahdollistaa ohuemat rakenteet tai vastaavasti saman paksuisina vähemmän lämmitysenergiaa kuluttavat rakenteet. Neopor®-materiaalin hyvä lämmöneristävyys perustuu suljetussa solurakenteessa olevaan liikkumattomaan ilmaan. EPS-eristeitä parempi lämmöneristyskyky perustuu Neopor®-materiaalin sisältämiin grafiittipartikkeleihin, jotka pienentävät materiaalin lämmönjohtavuutta. Lämmönjohtavuuden pienentyminen perustuu grafiitin kykyyn absorboida itseensä infrapunasäteilyä ja toisaalta kykyyn heijastaa lämpösäteilyä. Neopor®-materiaalin lämmönjohtavuusarvo $\lambda = 0,032 \text{ W/Km}$, rakenteen painon ollessa 17 kg/m^3 . Neopor®-materiaalin tunnistaakin helpoimmin materiaalin harmaasta väristä. [3.]

Neopor®-materiaalin palonkesto-ominaisuus on merkittävästi parempi palosuojaamattomaan EPS:ään verrattuna. Neopor®-materiaali luokitellaan palonkestoluokkaan B1 (DIN4102), kun tavallinen EPS luokitetaan yleensä luokkaan E tai F. Yleensä rakennuksen palosuojaus tehdään sisäpuolelta kipsilevyillä ja ulkopuolella ulkoverhouksella, kuten rappauksella. [3.]

Neopor®-materiaalista valmistetut tuotteet on mahdollista luokittaa rakennusmateriaalin vähäpäästöisyydestä kertovaan M1-luokkaan. Rakennusmateriaalien päästöluokitus esittää vaatimukset tavanomaisissa työ- ja asuintiloissa käytettäville materiaaleille hyvän sisäilman laadun kannalta. [3.]

Materiaali on täysin kierrätettävää valmistusprosessissa sekä tehokkaamman materiaalin ansiosta raaka-aineen käyttöä voidaan vähentää merkittävästi EPS:ään nähden. Neopor®-materiaalin ympäristöystävällisyyttä edelleen lisää se, ettei valmistusprosessissa käytetä otsonikerrosta tuhoavia kaasuja, kuten CFC-, HCFC- ja HFC-yhdisteitä. Neopor®-granulaatit sisältävät noin 6 % pentaanikaasua, joka vesihöyryn avulla paisutetaan 50-kertaiseksi ilman ympäristölle haitallisia kemikaaleja. [3.]

4 Tutkimuksen tavoitteet

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää Passiivikivitalojen sähköasennuksissa yleisimmin käytettyjen asennuskaapeleiden (MMJ 3x1,5 S ja MMJ 3x2,5 S) lämmön nousu asennuskaapelin läpiviennissä ulkoseinässä maksimikuormituksella. Passiivikivitalojen seinä tehdään Passiivitriploharkosta, joka on valmistettu Neopor-materiaalista. Neopor on erittäin hyvä lämmöneriste ja valmiin Passiivikivitalot-seinän U-arvoksi saadaan 0,10.

Hyvän lämmönerityksen ansiosta läpiviennin kohdalla johtimen lämpö saattaa nousta liian korkeaksi kovalla pitkään jatkuvalla kuormituksella. Läpivienti tehdään yleensä harkon ulkolaitojen välissä olevan kannakkeen kohdalta porauksen helppouden takia. Tämän vuoksi asennuskaapeli on koko läpiviennin matkan eristeen ympäröimänä. Harkon ollessa 410 mm paksu tulee eristeen sisällä olevan asennuskaapelin osuudeksi suhteellisen pitkä, joka herättää epäilyt lämmön nousun määrästä.

Paras tapa selvittää, onko lämmön nousu asennuskaapelin johtimessa liian suuri eristeen sisällä, on mitata asennuskaapelin johtimen lämpötila maksimikuormituksella riittävän pitkän ajan, jotta voidaan olla varmoja mittaustuloksista.

5 Asennuskaapelin johtimen lämpötilan mittaaminen

5.1 Tutkimukseen valitut asennuskaapelit

Tutkittaviksi asennuskaapeleiksi valittiin MMJ 3x1,5 S ja MMJ 3x2,5 S niiden ollessa yleisimmin käytettäviä asennuskaapeleita. Asennuskaapelit sisältävät kolme halkaisijaltaan 1,5 mm²:n ja 2,5 mm²:n kuparijohdinta. Johtimien värit ovat ruskea, sininen ja keltavihreä. Ruskea on vaihejohdin, sininen on nollajohdin ja keltavihreä on maadoitusjohdin. Johtimet on eristetty lyijyttömällä PVC-muovilla (kuva 4). [5.]



Kuva 4. MMJ-asennuskaapeli [5].

5.2 Valmistelevat työt

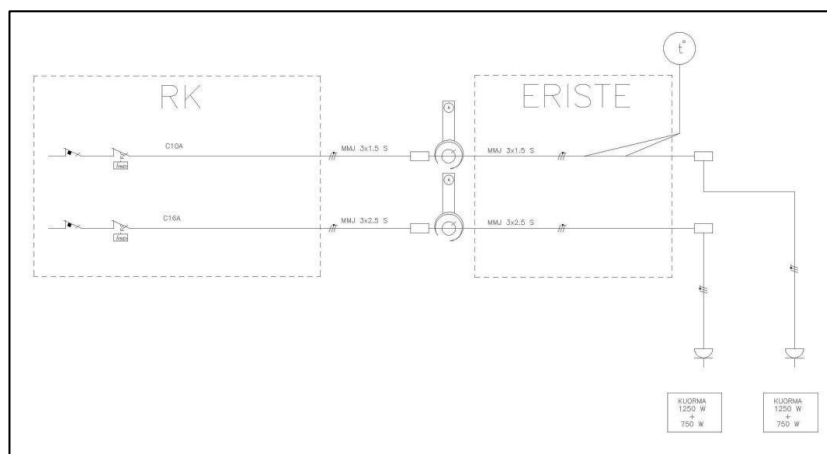
Tutkimuksen suorituspaikaksi valittiin Helsingin Koukkusaarentiellä sijaitsevan omakotitalon autotalli. Autotallin vieressä kellarin käytävällä sijaitsee kyseisen talon ryhmäkeskus, johon asennettiin tutkimusta varten kaksi vikavirtajohdonsuojaa ja yksi johdonsuoja. Johdonsuojiiin kytkettiin MMJ 3x2,5 S -asennuskaapeli, jonka toinen pää asennettiin autotallissa olevaan pinnalliseen kalvorasiaan. Kalvorasiassa suoritettiin Passiivitriploharkkoon asennetun MMJ:n kytkentä. MMJ:n toisessa päässä oli myös kalvorasia, johon liitettiin noin metrin pituinen MMJ, johon oli kytketty pistorasia (kuva 5). Näin voitiin helposti vaihtaa kuormittavaa asennuskaapelia ilman hankalia uudelleenkytkentöjä.



Kuva 5. Harkosta tuleva mitattava kaapeli, jakorasia ja pistorasia [4].

Pistorasiaan voitiin kytkeä pistotulpilla sähkölämmittimiä sopivan kuorman saamiseksi. Lämmittimissä oli valittavana kaksi päälle/pois-kytkintä, joilla vointiin kytkeä päälle 1250 W:n ja 750 W:n vastukset (kuva 6). Eri kuormituksia testattiin ennen lämpötilanmittausta, jotta saatiin valittua maksimaalinen kuormitus, jonka johdonsuoja kestää koko mit-

tauksen ajan. Liian kovalla kuormituksella johdonsuoja pysyi päällä hetken aikaa, ennen kuin katkaisi virransyötön johtimeen.



Kuva 6. Mittausten kytkentäkaavio [4].

5.3 Johdonsuojat

Johdonsuojiksi tutkimusta varten valittiin kaksi Hagertin vikavirtajohdonsuojaa, joista jatkossa käytetään nimitystä johdonsuoja. Johdonsuojat olivat merkiltään ja malliltaan Hagert ADA 960G C10, AD 966B C16 ja MCN120E C20 .

Taulukko 1. Hagert- johdonsuojien laukaisuominaisuudet [8].

Johdonsuojajakatkaisijoiden laukaisuominaisuudet
(määritetty ympäristölämpötilassa 30°C)

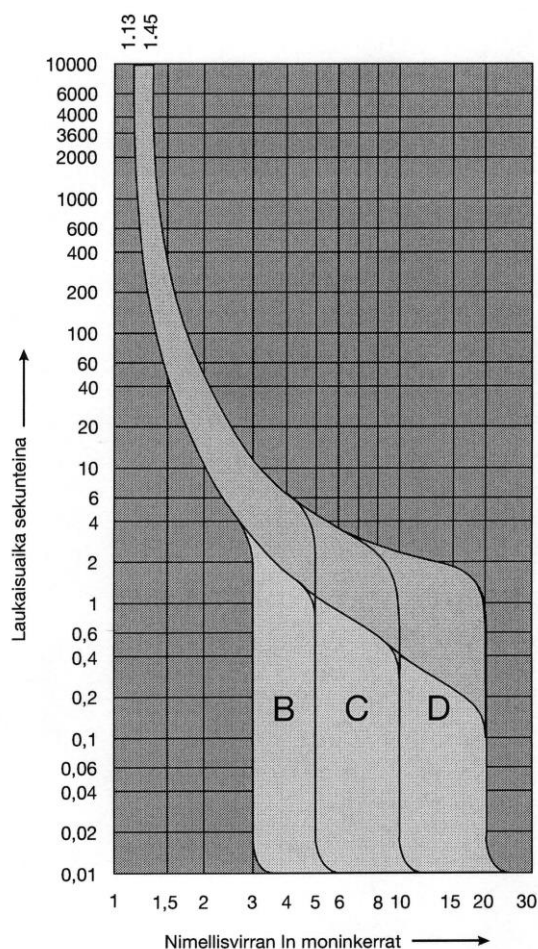
| Normit | Laukaisukäyrä | Terminen laukaisu | | | Sähkömagneettinen laukaisu | | |
|--|---------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------------|----------------------------|-----------------|--|
| | | pieni koestusvirta I_1 | suuri koestusvirta I_2 | Laukaisuaika | pitää | laukaisee | Laukaisuaika |
| DIN VDE 0641 osa 11 / 8.92 EN 60 898 | B | $1,13 \times I_n$ | $1,45 \times I_n$ | $> 1 \text{ h}$ $< 1 \text{ h}$ | $3 \times I_n$ | $5 \times I_n$ | $> 0,1 \text{ s}$ $< 0,1 \text{ s}$ |
| | C | $1,13 \times I_n$ | $1,45 \times I_n$ | $> 1 \text{ h}$ $< 1 \text{ h}$ | $5 \times I_n$ | $10 \times I_n$ | $> 0,1 \text{ s}$ $< 0,1 \text{ s}$ |
| IEC 947-2 | D | $1,13 \times I_n$ | $1,45 \times I_n$ | $> 1 \text{ h}$ $< 1 \text{ h}$ | $10 \times I_n$ | $20 \times I_n$ | $> 0,1 \text{ s}$ $< 0,1 \text{ s}$ |

Johdonsuojien terminen laukaisu tapahtuu pienellä koetusvirralla alle tunnissa ja suu-
rella koetusvirralla laukeamiseen kuluu yli tunti. Tämä on hyvä tiedostaa johtimia
kuormitettaessa. Johdonsuoja kestää ylikuormaa tietyn ajan, ja on hyvä tarkastella
kuormitusta myös johdonsuojan ylärajoilla (taulukko 1). Tämä tarkastelu tehtiin 2,5

mm²:n johtimelle asennustapa 2:lla käyttäen johdonsuojana 20 A:n johdonsuojaa, jotta voitiin varmistaa, ettei johdonsuoja kytkeydy pois päältä liian aikaisin [8].

Nimellisvirran I_n ollessa 10 A johdonsuojan toiminta-alue on $10 \text{ A} \times 1,13 = 11,3$ pienellä koestusvirralla ja $10 \text{ A} \times 1,45 = 14,5$ A suurella koestusvirralla (kuva 7).

**Laukaisukäyrät: B / C EN 60 898
D IEC 947-2**



Kuva 7. Johdonsuojien laukaisukäyrät [8].

5.4 Asennuskaapeleiden ja Passiivitriplon valmistelut mittauksia varten

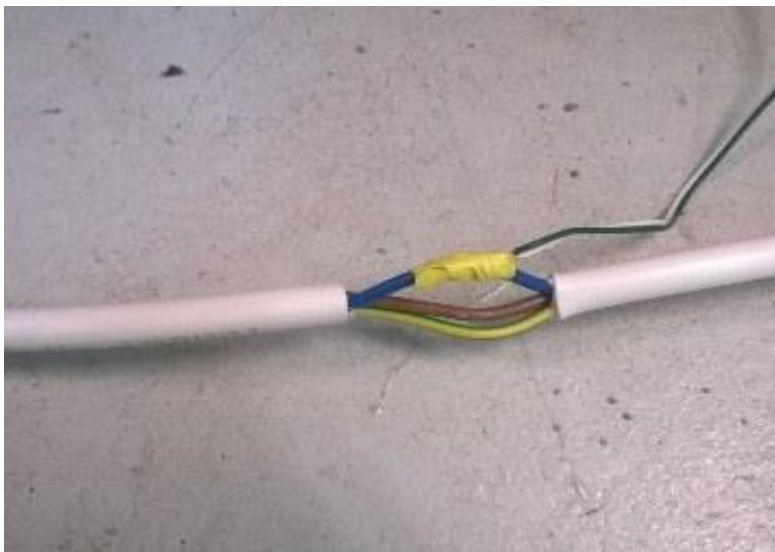
Kummastakin asennuskaapelikoosta, MMJ 3x1,5 S ja MMJ 3x2,5 S, leikattiin noin kahden metrin pituiset pätkät kaapelin lämpötilanmittauksia varten. Asennuskaapelin vaippa kuorittiin Kuorintaveitsi Jokari 28H:lla noin 5 cm:n matkalta ja asennuskaapelin kuori otettiin talteen myöhempää käyttöä varten. Asennuskaapelin nollajohdin kuorittiin noin

2:n cm:n matkalta ja siihen asennettiin lämmönmittaukseen tarkoitettu päistään kuorittu ja yhteen liitetty termoelementti kierittämällä se tiukasti kuoritun nollajohtimen ympärille (kuva 8).



Kuva 8. Asennuskaapelin kuorittuun nollajohtimeen asennettu mittarin termoelementti [4].

Nollajohdin valittiin mittauskohteeksi vaihejohtimen sijasta, koska nollajohdin ja lämpötilaa mittaava mittari ovat samassa potentiaalissa. Tämä tarkoittaa, ettei niissä ollut jännite-eroa, joten näin lämmönmittaus voitiin suorittaa mittaria rikkomatta. Lämpömittarin parikaapelin asentamisen jälkeen nollajohdin teipattiin muoviteipillä poistetun eristeen korjaamiseksi. Asennuskaapelin kaikki johtimet aseteltiin siististi vierekkäin, mikä vastaa normaaliasentoa asennuskaapelin sisällä. Tämän jälkeen johtimien päälle asennettiin asennuskaapelin muovinen vaippa, joka teipattiin asennuskaapeliin huolellisesti, jotta asennuskaapelista saataisiin mahdollisimman alkuperäisen oloinen mittauksista varten. (Kuva 9.)



Kuva 9. Kuoritun nollajohtimen teippaus muoviteipillä [4].

Asennuskaapelin vaipan teippauksen jälkeen asennuskaapelin vaippaan kiinnitettiin toinen lämpömittarin päistään kuorittu ja yhteen liitetty parikaapeli, jotta myös asennuskaapelin vaipan lämpötilaa voidaan mitata kuormituksen aikana. Nollajohtimeen kiinnitetty mittajohto merkattiin mustalla tussilla, jotta voitiin olla varmoja mittajohtojen oikeellisuudesta mittauksia tehtäessä. (Kuva 10).



Kuva 10. Asennuskaapeli teipattuna ja mittausjohtimet asennettuna [4].

Passiivitriploharkkoon porattiin porakoneella halkaisijaltaan 12 mm:n reiät johtimia varten. Reiät imuroitiin porauksen jälkeen Neopor-murujen poistamiseksi. Reiät porattiin harkon seinämien kannakkeen kohdalle (kuva 11), koska sähköasennustilanteessa se

on kaikkein todennäköisin paikka läpiviennille porauksen helppouden vuoksi. Kyseisessä kohdassa on myös eniten lämmöneristystä, joten se on lämpötilan mittauksen kannalta mielenkiintoisin kohta huomioon ottaen harkon eri läpivientimahdollisuudet.

Läpivienti olisi voitu tehdä myös kohdasta, jossa asennuskaapeli kulkisi betonin lävitse. Silloin kaapeli todennäköisesti pystyisi paremmin luovuttamaan kuormituksen yhteydessä syntyvää lämpöä betoniin ja oletettavasti johtimen lämpötila jäisi siinä mittauksessa alhaisemmaksi kuin nyt valitussa mittauskohdassa. Tämä voisi olla hyvä tapa tehdä asennus, jos mittaustulokset osoittaisivat johtimen kuumentuvan liian kuumaksi.



Kuva 11. Asennuskaapelin reiän poraus [4].

5.5 Mittauksessa käytetyt mittalaitteet

Lämpötilanmittausta suoritettaessa oli tärkeää saada mitatuksi asennuskaapelin johtimen ja vaipan lämpötila asennuskaapelin ollessa Passiivitriplon sisällä. Tähän mittaukseen parhaimmaksi (hintalaatusuhteeltaan) mittariksi osoittautui merkiltään testo 925 – lämpömittari (kuva 12). testo 925:n mittausalue on $-50...+1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja tarkkuus $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Mittarin lämpötila-anturi, päistään yhtyeenliitetty kuorittu termoelementti, kiinnitettiin mittariin K-tyypin TC-liittimellä. Termoelementti koostuu kahdesta PVC-muovilla pinnoitetusta langasta, joista toinen on tehty nikkeli-kromista ja toinen nikkelistä. [6.]



Kuva 12. testo 925 -lämpömittari [4].

Asennuskaapelin johtimen lämpötilaa mitattaessa tavoitteena oli saada johtimelle mahdollisimman suuri kuormitus, ottaen huomioon johdonsuojan ylikuormituksenkestokapasiteetti. Parhaiten kuormitus saatiin valittua testaamalla johdonsuojan kuormituskykyä kuormittamalla sitä eri kuormilla.

Kuormituksen mittaamiseen käytettiin Onnline 350 –pihtivirtamittaria (kuva 13), joka asennettiin ryhmäkeskukselta tulevan MMJ 3x2,5 S:n nollajohtimen ympärille avonaisessa jakorasiassa. Kuormitusta mittaamalla ja testaamalla eri kuormituksia saatiin valittua sopiva kuorma, jonka vikavirtasuojia kesti laukeamatta ylikuormituksen vuoksi.



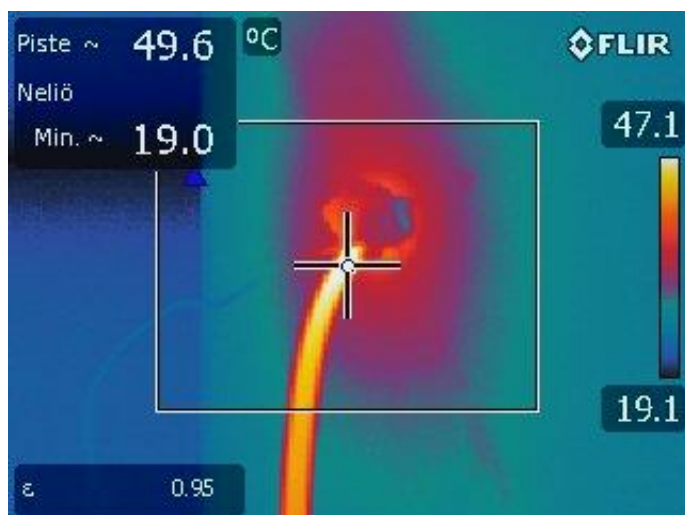
Kuva 13. Onnline 350 -pihtivirtamittari [4].

Passiivitriplon ulkopinnan lämmönmittaukseen käytettiin Flir ebx 50 -lämpö-kameraa (kuva 14). Lämpökameralla tarkkailtiin ja mitattiin harkon lämpötiloja harkkoon asennettun asennuskaapelin ja harkon rajapinnasta.



Kuva 14. Flir ebx 50 lämpökamera [4].

Lämpökuvasta (kuva 15) on nähtävissä lämmönsiirtymisalue harkon ja asennuskaapelin liitoskohdasta. Myös asennuskaapelin harkon ulkopuoleinen lämpötila mitattiin lämpökameralla viimeistä mittausta tehtäessä, jolloin johtimen lämpötila oli 86,4 °C.



Kuva 15. Lämpökuva harkon ja asennuskaapelin liitoskohdasta [4].

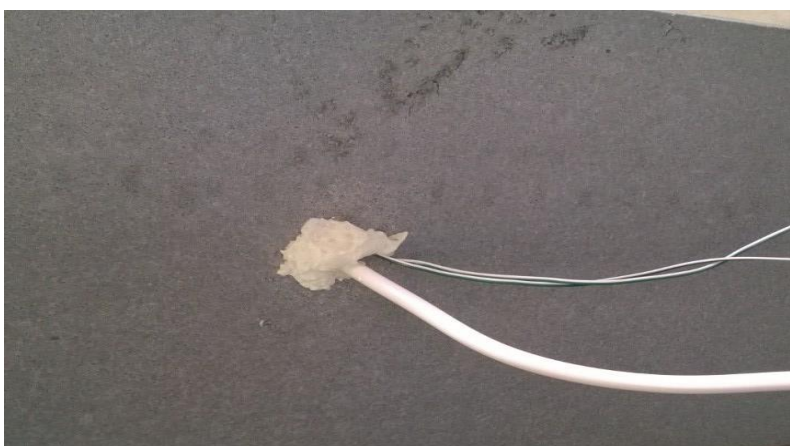
5.6 Johtimen lämpötilan mittaaminen

Tutkimuksessa mitattiin valittujen asennuskaapeleiden nollajohtimen lämpötila Passiivitriploharkon läpiviennissä kahdella eri asennusmenetelmällä. Asennusmenetelmä 1:ksi valittiin pelkän asennuskaapelin asentaminen harkkoon porattuun reikään ja harkkon reikien teippaaminen ilmastointiteipillä harkkon molemmin puolin (kuva16).



Kuva 16. Asennusmenetelmä 1 [4].

Asennusmenetelmä 2:ksi valittiin asennuskaapelin asentaminen harkkoon porattuun reikään ja reiän tiivistäminen huolellisesti uretaanivaahdolla (kuva 17). Molemmat asennustavat ovat mahdollisia toteuttaa käytännössä, ja siksi haluttiin tutkia, vaikuttaako asennustapa kuormitetun johtimen lämpötilaan.



Kuva 17. Asennustapa 2 [4].

Asennuskaapelin mittausta valmistelevien töiden jälkeen tutkimuksessa siirryttiin mittausapahtumaan. Valitut asennuskaapelit, MMJ 3x1,5 S ja MMJ 3x2,5 S, asennettiin porattuihin reikiin ja harkon molemmilla puolella olevat reiät teipattiin ilmastointiteipillä tiiveyden varmistamiseksi (asennustapa 1). Tämän jälkeen asennuskaapeleille tehtiin lämpötilan mittaukset, joissa seurattiin lämpötilan kehitystä ajan suhteen. Mittausta jatkettiin niin kauan, että saavutettiin mitattavan johtimen maksimilämpötila. Sen jälkeen varmistettiin vielä kahden tunnin ajan johdinta kuormittamalla, ettei lämpötila enää nouse. Lopussa mitattiin myös asennuskaapelin vaipan lämpötila, jotta saatiin verrattua kuormitetun johtimen ja asennuskaapelin vaipan lämpötilan eroa.

Asennusmenetelmä 1:n jälkeen ilmastointiteipit poistettiin harkon reikien ympäriltä ja reikiin pursotettiin uretaanivaahtoa uretanipistoolilla, joka työnnettiin harkon sisälle harkon molemmiin puolin olevista reistä suutinosaa samalla ulos vetäen. Tällä menetelmällä varmistettiin reiän täydellinen tiiveys. Uretaanin annettiin kuivua vähintään vuorokausi ennen seuraavaa mittausta (asennusmenetelmä 2).

5.6.1 Kuorman valinta mitattaville johtimille

Mitattaviksi asennuskaapeleiksi oli valittu MMJ 3x1,5 S ja MMJ 3x2,5 S. Halkaisijaltaan 1,5 mm² olevan johtimen johdonsuojana käytetään 10 ampeerin johdonsuojaa, jonka suurin sallittu kuormitus on 2300 W. Todellisessa käyttötilanteessa käyttäjä voi kuitenkin kuormittaa johdonsuojaa myös suuremmalla kuormalla, mikäli johdonsuoja sen kestää.

Ennen lämpötilan mittauksen aloittamista testattiin 10 ampeerin vikavirtasuojan kuormituksen kestävyys erisuuruisilla kuormilla. Kuormituksen vaihtuessa virran määrää seurattiin pihtivirtamittarilla (kuva 18). Valitun maksimikuorman aikana johtimessa kulki 12,2 ampeerin virta. Tämän virtamäärän johdonsuoja kesti koko mittauksen ajan.



Kuva 18. Virran mittaus pihtivirtamittarilla [4].

Johtimiin kytkettävän laitteen maksimitehon voi laskea tehon kaavalla, joka on $P = UI$. P on teho ja sen yksikkö on watti (W), U on jännite ja sen yksikkö on voltti (V) ja I on virta ja sen yksikkö on ampeeri (A). Laskennalliseksi maksimitehoksi saadaan $P = 230 \text{ V} \times 10 \text{ A} = 2300 \text{ W}$.

Kuormina käytettiin kahta lämmitintä (kuva 19), joissa voitiin säätää tehon määrää asteikoilla: nolla, 1250 W (päällä tai pois päältä) ja 750 W (päällä tai pois päältä). Lämmittimien molemmat tehot oli mahdollista kytkeä päälle myös samanaikaisesti. Näillä testeillä haettiin mitattaville johtimille oikean suuruinen kuormitus, joka oli mahdollisimman suuri kuormitus jonka johdonsuoja kestää.



Kuva 19. Kuormana käytetyt lämmittimet [4].

Samalla menettelyllä haettiin halkaisijaltaan 2,5 mm²:n johtimelle sopiva kuorma. Halkaisijaltaan 2,5 mm² olevan johtimen johdonsuojana käytetään 16 ampeerin johdonsuojaa, jonka sallittu suurin kuormitus on 3680 W (16 A x 230 V = 3680 W). Todellisessa käyttötilanteessa käyttäjä voi kuitenkin kuormittaa johdonsuojaa myös suuremmalla kuormalla johdonsuojan laukeamatta, riippuen johdonsuojan ylikuorman raja-arvoista. Ennen lämpötilan mittauksen aloittamista testattiin 16 ampeerin johdonsuojan kuormituksen kestävyys erisuuruksilla kuormilla. Kuormituksen vaihtuessa virran määrää seurattiin pihtivirtamittarilla. Valitun maksimikuorman aikana johtimessa kulki 17,5 ampeerin virta. Tämän virtamäärän johdonsuoja kesti koko mittauksen ajan.

5.6.2 Johtimen lämpötilan mittaus

Molemmat johdinkoot (1,5 mm² ja 2,5 mm²) mitattiin molemmilla asennusmenetelmillä (asennusmenetelmä 1 ja 2). Ensin tehtiin mittaukset asennusmenetelmä 1:llä, jotta samaa asennuskaapelia voitiin käyttää myös asennusmenetelmä 2:n mittaamisessa. Asennusmenetelmä 2:n jälkeen asennuskaapeli oli liimautunut harkkoon kiinni niin luja, ettei sitä helposti saisi ehjänä pois.

Mittaus aloitettiin ajanhetkellä nolla ja lämpötila merkittiin taulukkoon. Lämpötila mitattiin yhden minuutin välein 25 minuutin ajan, minkä jälkeen mittausväliä pidennettiin viiden minuutin mittaiseksi 25 minuutin ja tunnin väliselle ajalle. Tämän jälkeen mittausväliä pidennettiin 30 minuutin mittaiseksi ensimmäisen ja toisen tunnin väliselle ajalle. Kahden tunnin jälkeen mittausväliksi valittiin yksi tunti. Mittausvälin pidentäminen johtui ensimmäisen mittauksen aikana tehdyistä lämpötilannousun kehitykseen liittyvistä havainnoista (lämpötilan nousu hidastui mittausajan kasvaessa). Mittaus lopetettiin, kun lämpötila oli saavuttanut huippuarvonsa.

Ensimmäinen mittaus suoritettiin 5,5 tunnin aikavälillä kuormittamalla asennuskaapelin johdinta maksimikuormituksella koko mittauksen ajan, minkä jälkeen voitiin todeta, ettei lämpötila enää noussut kolmen tunnin jälkeen ollenkaan. Tämän johdosta rajattiin myös muiden mittauksien mittausaika kolmeksi tunniksi, joka mitattuja lämpötiloja tarkastelemalla osoittautui hyväksi mittausajaksi.

6 Tulosten analysointi

Mittaus aloitettiin MMJ 3x1,5 S -asennuskaapelilla, josta mitattavaksi johtimeksi valittiin asennuskaapelin nollajohdin (sininen), koska se on samassa potentiaalissa lämpömittarin kanssa ja näin ollen ei riko lämpömittaria. Mittauksista pidettiin kirjaa niitä tehtäessä ja niiden tuloksista laadittiin excel-taulukot, joissa kuvaajat näyttivät lämpötilan kehittymisen ajan suhteen.

6.1 Kaapelin valmistajan antamat enimmäiskäyttölämpötilat

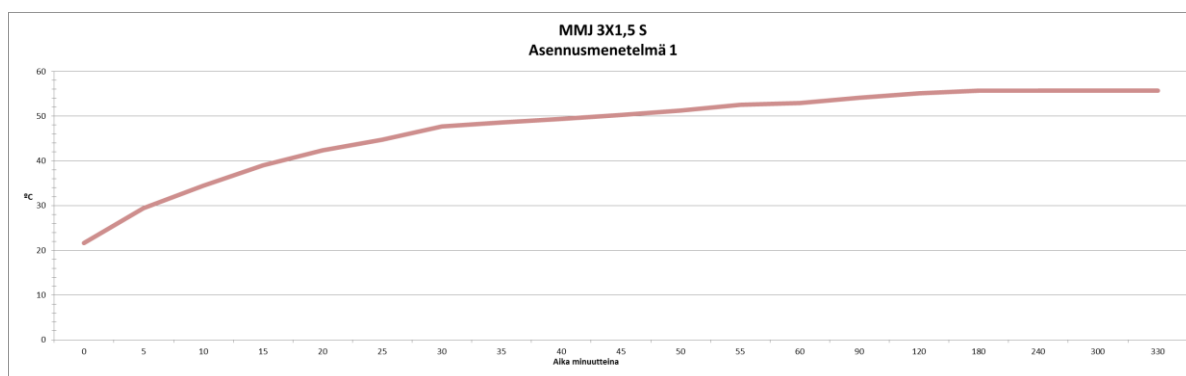
Tutkimuksessa käytettiin Reka Kaapelin valmistamia Reko MMJ 3x1,5 S ja MMJ 3x2,5 -asennuskaapeleita. Johtimena asennuskaapeleissa on kolme kappaletta 1,5...2,5 mm² pyöreää kuparilankaa. Asennuskaapeleiden paloluokka on F2, ja niiden alhaisin käsittelylämpötila on -15 °C. Johtimen maksimikäyttölämpötila on +70 °C ja oikosulun suurin loppulämpötila +160 °C. [5.]

6.2 Asennuskaapeli MMJ 3x1,5 S, asennusmenetelmä 1

Ensimmäisessä mittauksessa mittausta varten valmisteltu asennuskaapeli (MMJ 3x 1,5 S) työnnettiin harkkoon porattuun reikään ja harkon ja asennuskaapelin väliset aukot teipattiin huolellisesti ilmastointiteipillä, jotta rakenne olisi ilmatiivis ja vastaisi hyvän rakennustavan mukaista tiivistä rakennetta.

Asennuskaapelin kuormitukseksi valittiin sähkölämmittimistä saatava teho, jolla virran määräksi tuli 12,2 ampeeria, joka oli todettu hyväksi kuormaksi johdonsuojan kestävyyttä testattaessa.

Asennuskaapelin johtimen lämmönnousu oli nopeaa noin kolmenkymmenen ensimmäisen minuutin aikana. Sen jälkeen lämpötila nousi tasaisesti, mutta koko ajan hidastuvalla vauhdilla, kunnes se saavutti korkeimman arvonsa kolmen tunnin kohdalla. Koetta jatkettiin vielä kahden ja puolen tunnin ajan, jotta voitiin varmistaa, ettei asennuskaapelin johtimen lämpötila enää nouse. Mittaustulokset on esitetty kuvaajassa 1.



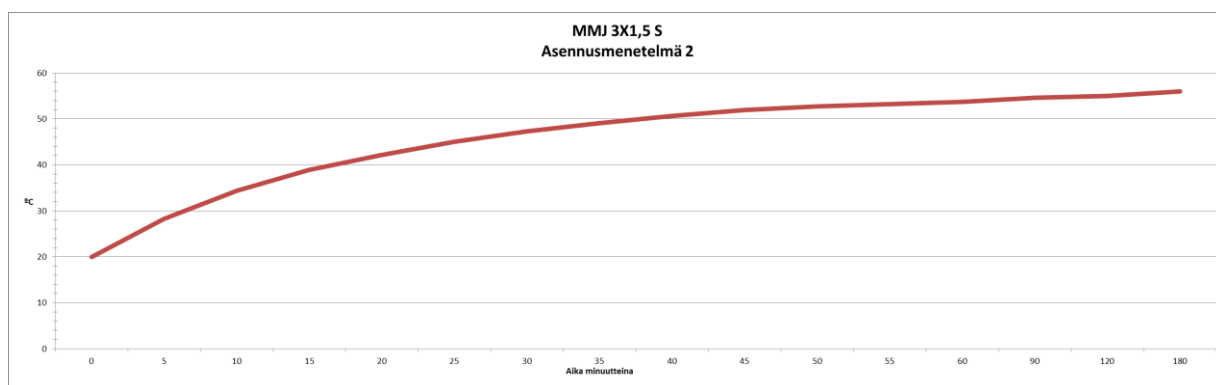
Kuvaaja 1. Lämmönkehitys MMJ 3x1,5 S:n nollajohtimessa 12,2 ampeerin kuormituksella asennusmenetelmä 1:llä.

Kuormitetun johtimen maksimilämpötilaksi mitattiin +55,7 °C, mikä jäi kauaksi asennuskaapelin valmistajan antamasta +70 °C:n arvosta. Asennuskaapelin vaipan lämpötilaksi mitattiin 53,0 °C.

6.3 Asennuskaapeli MMJ 3x1,5 S, asennusmenetelmä 2

Ensimmäisen mittauksen jälkeen asennuskaapelin ja Passiivitriplon lämpötilojen annettiin tasaantua vuorokauden ajan, jotta asennuskaapelin johtimen lämpötila olisi mahdollisimman lähellä huoneilman lämpötilaa. Toisessa mittauksessa mittausta varten valmisteltu asennuskaapelin ja harkon teippaukset poistettiin ja harkon ja asennuskaapelin välinen tila täytettiin uretaanivaahdolla. Uretaanivaahdon annettiin kuivua vuorokauden ajan, ennen mittauksen suorittamista. Tällä menetelmällä rakenteesta tuli erittäin tiivis ja hyvin lämmöneristetty. Asennuskaapelin mitattavaa johdinta kuormitettiin samalla tavalla kuin aikaisemmassakin mittauksessa.

Myös asennusmenetelmä 2:lla asennetun asennuskaapelin johtimen lämmön nousu oli nopeaa noin viidentoista ensimmäisen minuutin aikana. Sen jälkeen lämpötila nousi tasaisesti, mutta koko ajan hidastuvalla vauhdilla, kunnes se saavutti korkeimman arvonsa kolmen tunnin kohdalla. Koetta ei jatkettu tämän jälkeen edellisen kokeen tulosten perusteella. Mittaustulokset on esitetty kuvaajassa 2.



Kuvaaja 2. Lämmönkehitys MMJ 3x1,5 S:n nollajohtimessa 12,2 ampeerin kuormituksella asennusmenetelmä 2:llä.

Kuormitetun johtimen maksimilämpötilaksi mitattiin +56,0 °C, mikä jäi kauaksi asennuskaapelin valmistajan antamasta +70 °C:n arvosta. Asennuskaapelin vaipan lämpötilaksi mitattiin 54,0 °C.

6.4 Asennustapa 1:n ja asennustapa 2:n lämpötilojen vertailu

Molemmissa asennustavoissa päästiin lähes samaan lopputulokseen lämpötilan suhteen. Myös lämpötilannousu oli lähes samanlaista ajan suhteen. Asennustapa 1:ssä aloituslämpötila oli 1,6 °C korkeampi kuin asennustapa 2:ssa, millä ei todennäköisesti ollut kuitenkaan merkitystä mittaustuloksiin.

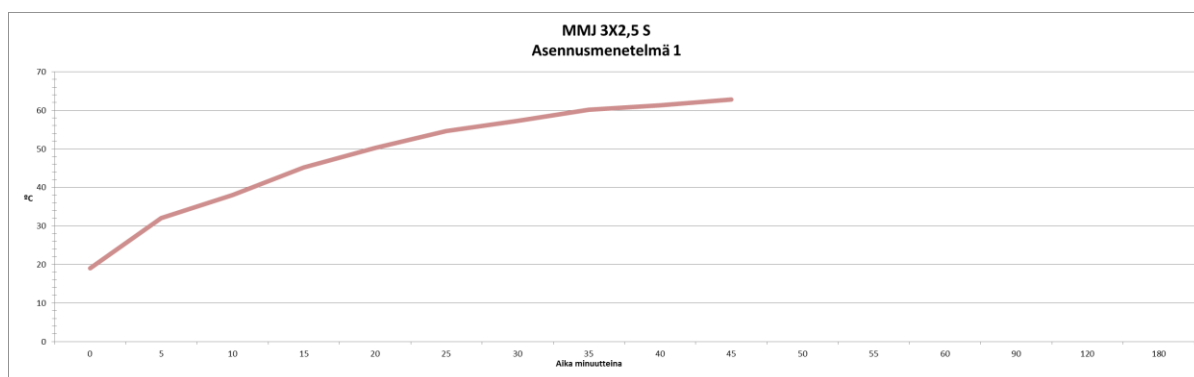
Tulos oli yllättävä, koska tutkimuksen tekijä oli luonut itselleen vahvan oletelman, että asennustapa 1 olisi antanut pienemmät lämpötila-arvot kuin asennustapa 2. Asennustapa 1:ssä harkon molemmin puolin on ainoastaan ilmastointiteippi eristeenä, kun taas asennustapa 2:ssa eristeenä toimii uretaanivaaho koko matkalla. Paremmin eristetyn asennustavan olisi luullut pitävän myös lämmön paremmin harkon sisällä, mutta näin ei ollutkaan, vaan molemmissa asennustavoissa lämpötila käyttäytyi lähes identtisesti.

Ilmeisesti asennuskaapelin ympärillä ollut seisova ilma toimi lähes yhtä hyvänä eristeenä, kuin vaahdotettu uretaanikin. Asennusmenetelmä 1:n heikkous verrattuna asennusmenetelmä 2:een on ilmastointiteippien liimauksen pitävyys harkossa pitkällä aikavälillä. Mikäli ilmastointiteipin liimauksen pitokyky heikkenee, saattaa läpiviennin kohdalle syntyä vuotokohta, joka saattaa aiheuttaa rakennukselle tai rakennuksen käyttäjille ongelmia.

6.5 Asennuskaapeli MMJ 3x2,5 S, asennusmenetelmä 1

Asennuskaapelin kuormitukseksi valittiin sähkölämmittimistä saatava teho, jolla virran määräksi tuli 22,0 ampeeria, joka oli todettu hyväksi kuormaksi johdonsuojan kestävyttä testattaessa. Tämän kuormituksen aikaan saamiseksi tarvittiin vielä yksi lisälämmitin kahden edellisen lämmittimen lisäksi.

Kuitenkin lämpötilan mittausta tehtäessä, johdonsuoja laukesi yllättäen seitsemän minuutin jälkeen, jolloin kuormitusta pienennettiin kesken mittauksen ja virran ampeerimäärä laski 20,0 ampeeriin. Tällä kuormituksella mittausta jatkettiin, kunnes taas johdonsuoja laukesi 38 minuutin kohdalla. Johdonsuoja viritettiin jälleen ja se laukesi useita kertoja uudelleen mittauksen aikana. Lämpötilanmittaus päätettiin lopettaa johdonsuojan laukeamisten vuoksi 45 minuutin jälkeen, jolloin oli jo saatu riittävästi hyviä tuloksia johtimen lämmön noususta. Mittaustulokset on esitetty kuvaajassa 3.



Kuvaaja 3. Lämmönkehitys MMJ 3x2,5 S:n nollajohtimessa 20,0-22,0 ampeerin kuormituksella asennusmenetelmä 1:llä.

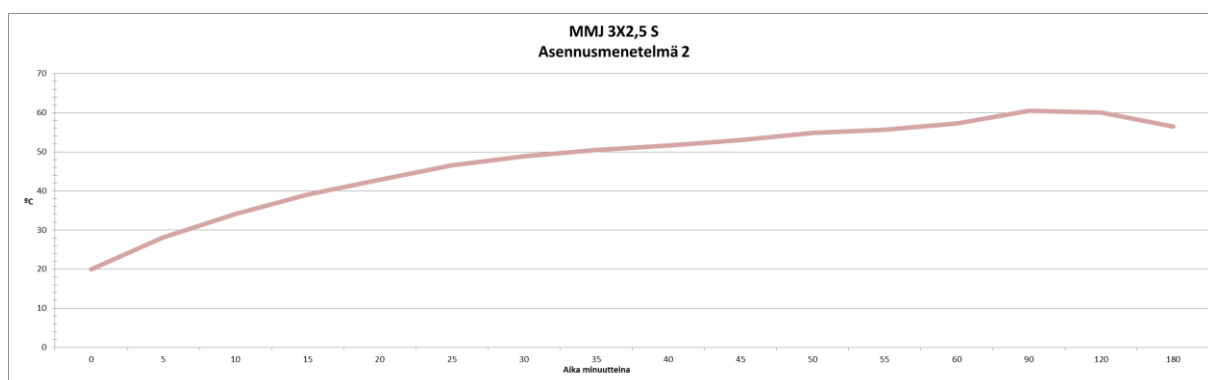
Tässä mittauksessa oli selvästikin liikaa kuormitusta, vaikka ennen mittausta kuormitus pyrittiin testaamaan ja oletettiin johdonsuojan kestävä kyseisen kuormituksen. Johdonsuoja kuitenkin toimi oikein ja esti asennuskaapelin johtimien ylikuumentumisen. Normaalikäytössä johtimien kuormittaminen olisi loppunut jo seitsemän minuutin jälkeen, ellei käyttäjä olisi havainnut johdonsuojan laukeamista ja viritänyt sitä uudelleen. Kuitenkin normaalikäytössä kuormitus olisi loppunut viimeistään noin 40-45 minuutin kohdalla, koska johdonsuoja laukesi niin usein, että jokaisen käyttäjän olisi pitänyt siinä kohdassa epäillä jonkin olevan pielessä ja antaa johdonsuojan olla nolla-asennossa.

Kuormitetun johtimen maksimilämpötilaksi mitattiin +62,8 °C, mikä jäi jonkin verran asennuskaapelin valmistajan antamasta +70 °C:n arvosta. Asennuskaapelin vaipan lämpötilaksi mitattiin 60,1 °C.

6.6 Asennuskaapeli MMJ 3x2,5 S, asennusmenetelmä 2

Ensimmäisen mittauksen jälkeen asennuskaapelin ja Passiivitriplon lämpötilojen annettiin tasaantua vähintään vuorokauden ajan, jotta asennuskaapelin johtimen lämpötila olisi mahdollisimman lähellä huoneilman lämpötilaa. Toisessa mittauksessa mittaukselta varten valmisteltu asennuskaapelin ja harkon teippaukset poistettiin ja harkon ja asennuskaapelin välinen tila täytettiin uretaanivaahdolla. Uretaanivaahdon annettiin kuivua vuorokauden ajan, ennen mittauksen suorittamista. Tällä menetelmällä rakenteesta tuli erittäin tiivis ja hyvin lämmöneristetty. Asennuskaapelin mitattavaa johdinta kuormitettiin samalla tavalla kuin aikaisemmassakin mittauksessa.

Myös asennusmenetelmä 2:lla asennetun asennuskaapelin johtimen lämmön nousu oli nopeaa noin viidentoista ensimmäisen minuutin aikana. Sen jälkeen lämpötila nousi tasaisesti, mutta koko ajan hidastuvalla vauhdilla, kunnes se saavutti korkeimman arvonsa puolentoista tunnin kohdalla. Kahden tunnin kohdalla kuormitettu johdin oli viilennyt 0,5 °C. Kolmen tunnin kohdalla kuormitettu johdin oli viilennyt maksimilämpötilastaan 4,0 °C. Koetta ei jatkettu kolmen tunnin jälkeen, koska muutkin mittaukset oli lopetettu siihen mennessä ensimmäisen mittaukserran jälkeen valitulla menetelmällä. Myös lämpötilan lasku johtimessa tuki mittauksen lopettamispäätöstä. Mittaustulokset on esitetty kuvaajassa 4.



Kuvaaja 4. Lämmönkehitys MMJ 3x2,5 S:n nollajohtimessa 17,5 ampeerin kuormituksella asennusmenetelmä 2:llä.

Kuormitetun johtimen maksimilämpötilaksi mitattiin +60,5 °C, mikä jäi kauaksi asennuskaapelin valmistajan antamasta +70 °C:n arvosta. Asennuskaapelin vaipan lämpötilaksi mitattiin 57,0 °C.

6.7 Asennustapa 1:n ja asennustapa 2:n lämpötilojen vertailu

Molemmissa asennustavoissa päästiin lähes samaan lopputulokseen lämpötilan suhteen. Nyt mittaustavoissa oli eroa verrattuna 1,5 mm²:n johtimen lämpötilan mittaamiseen, koska ensimmäisessä mittauksessa mittaus tehtiin liian suurella kuormalla, joka johti johdonsuojan laukeamiseen ja kokeen keskeyttämiseen 45 minuutin kohdalla. Tämän vuoksi asennustapa 2:n mittaus suoritettiin 2,5-4,5 ampeeria pienemmällä kuormituksella kuin asennustapa 1, jotta johdonsuoja kestäisi koko mittauksen ajan.

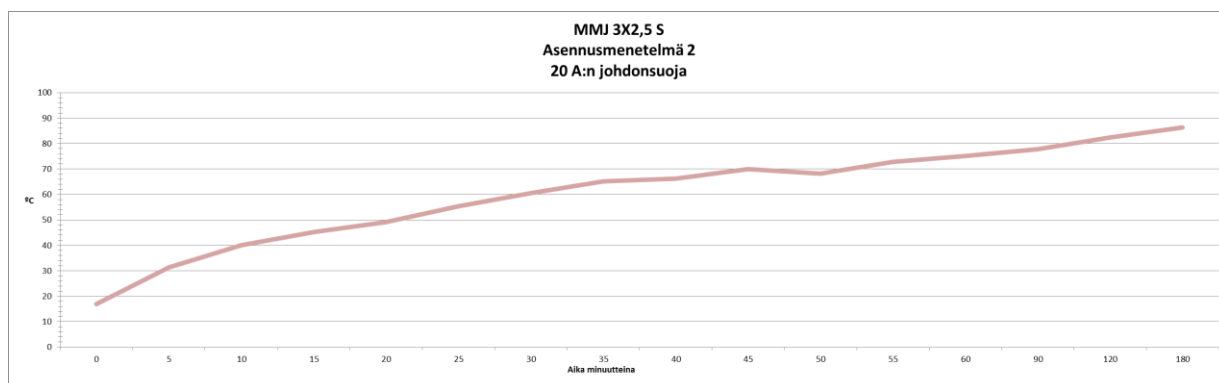
Näissä mittauksissa mittausten tulos ei enää yllättänyt niin paljon kuin ensimmäisen asennuskaapelin mittausten jälkeen, koska ensimmäisten mittaustulosten perusteella voitiin olettaa myös tämän kaapelin käyttäytyvän samalla tavalla kuin aikaisemmankin. Mittauksista löytyi kuitenkin seikka, jolle ei löytynyt selitystä ja jää arvoitukseksi tämän tutkimuksen osalta. Miksi asennustapa 2:n mittausten lopussa kuormitettavan kaapelin lämpötila laski, vaikka kuormitus pysyi samana koko ajan? Kuormitus tarkistettiin pihtivirtamittarin näytöstä aina kun lämpötilakin mitattiin. Virran määrä pysyi samana koko ajan, joten kuormituskin on ollut samansuuruinen koko mittauksen ajan.

Myös muut mittaolosuhteet olivat samat koko mittauksen ajan. Mittaus suoritettiin lämmitetyssä autotallissa, mitattava kohde oli molemmissa mittaustilanteissa (eri asennustavat) samassa kohdassa autotallia. Myös autotallin lämpötila pysyi samana molempien mittausten ajan.

6.8 Asennuskaapeli MMJ 3x2,5 S, asennusmenetelmä 2, johdonsuojana C20

Lopuksi tehtiin 2,5 mm²:n johtimelle mittaus, jossa johdonsuojaksi vaihdettiin 20 ampeerin johdonsuoja. Tällä varmistettiin, ettei johdonsuoja laukea kesken mittauksen. Normaalisti 2,5 mm²:n johtimelle suurin sallittu johdonsuoja on 16 A. Hagerin johdonsuoja kestää lyhytaikaista ylikuormaa 1,45 x nimellisvirta, eli kuormitus voi olla alle tunnin ajan 23,2 A. Tähän mittaukseen kuormaksi valittiin 22,4 A, joka oli lähin mahdollinen kuormitus, mikä voitiin käytettävissä olevilla laitteilla saada.

Lämmönnousu oli nopeampaa kuin muissa mittauksissa ja myös 70 °C:n raja ylitettiin 45 minuutin kohdalla. Mittaukseen käytettiin sama aika, kuin muihinkin mittauksiin. 180 minuutin kohdalla lämpötila oli noussut 86,4 celsiusasteeseen. Mittaustulokset on esitetty kuvaajassa 5.



Kuvaaja 5. Lämmönkehitys MMJ 3x2,5 S:n nollajohtimessa 22,4 ampeerin kuormituksella asennusmenetelmä 2:llä, 20 ampeerin johdonsuojalla

6.9 Johtimista mitatut maksimilämpötilat

Tutkimuksessa tehtiin yhteensä viisi eri mittausta. Molemmat johdinkoot, 1,5 mm² ja 2,5 mm², mitattiin kahdella eri asennustavalla. Lisäksi 2,5 mm²:n johtimelle tehtiin mitaus, jossa johdonsuojana käytettiin 16 ampeerin johdonsuojan sijasta 20 ampeerin johdonsuojaa. Tällä haluttiin varmistaa mittauksen onnistuminen kovalla kuormituksella.

Asennuskaapeli MMJ 3x1,5 S:n kuormitettujen johtimien maksimilämpötilat olivat asennusmenetelmä 1:llä 55,7 °C ja asennusmenetelmä 2:lla 56,0 °C. Asennuskaapeli MMJ 3x2,5 S:n kuormitettujen johtimien maksimilämpötilat edellä mainituilla asennustavoilla olivat 62,8 °C ja 60,5 °C. Viidennessä mittauksessa, jossa käytettiin 20 ampeerin johdonsuojaa 2,5 mm²:n johtimelle, päästiin 86,4 °C:n lämpötilaan.

7 Johtojen kuormitettavuus

7.1 Johdon kuormitettavuus asennustavan mukaan

Johdon kuormitettavuus on määritelty johdolle sallitun suurimman lämpötilan mukaan. Johtimelle jatkuvasti sallittua lämpötilaa ei saa ylittää, koska yllämpö lyhentää johdon käyttöikää nopeuttamalla eristeiden vanhenemista. PCV-muovin pehmeneminen haihtuu ja muovi kovenee. Tämä lisää kaapelin aiheuttamaa tulipaloriskiä kovilla kuormituksilla. [1.]

Johdon kuormitettavuuteen vaikuttavat johdinmateriaali, eristysmateriaali, ympäristön lämpötila, asennustapa sekä muiden virtapiirien läheisyys. Johdon kuormitettavuuden määrää sen kyky luovuttaa virran aiheuttama lämpö ympäristöön. [1.]

Johdoille on paljon kuormitustaulukoita, koska kuormitukset on laskettu erikseen yksivaihe- ja kolmivaihevirtapiireille sekä erikseen PVC-eriteille ja PEX-eristeisille johtimille. Lisäksi asennustavat on jaettu kuormitettavuuden kannalta yhdeksään eri ryhmään. [1.]

Taulukossa 2 on esitetty kolme erilaista asennustapaa A, B, ja C. Asennustapa A on uppoasennus, asennustapa B on pinta-asennus putkessa ja asennustapa C on pinta-asennus asennuskaapelilla ilman putkea. [7.]

Taulukko 2. Johtojen kuormittavuudet ampeereina eri asennustavoilla [7].

| Johtimen nimellis- poikkipinta (mm) ² | SFS 6000:n mukaiset asennustavat, kaksi kuormitettua johdinta | | | |
|--|--|------|----|--|
| | A | B | C | |
| Kupari | | | | |
| 1,5 | 15 | 17,5 | 20 | |
| 2,5 | 20 | 24 | 29 | |
| 4 | 27 | 32 | 38 | |
| 6 | 34 | 40 | 49 | |
| 10 | 46 | 55 | 67 | |

Tässä tutkimuksessa asennuskaapeleiden lämpötilaa mitattaessa käytettiin asennuskaapeleiden läpivienneissä asennustapa A:ta. Taulukosta voidaan lukea molempien asennuskaapeleiden johdinten poikkipinta-alan mukaiset kuormitukset. MMJ 3x1,5 S -johtimien poikkipinta-ala on $1,5 \text{ mm}^2$, jolloin asennustapa A:lla johtimen suurin kuormitus on 15 A. MMJ 3x2,5 S johtimien poikkipinta-ala on $2,5 \text{ mm}^2$, jolloin asennustapa A:lla johtimen suurin kuormitus on 20 A.

Tutkimuksessa käytettiin MMJ 3x1,5 S:n kuormituksessa 12,2 ampeerin virtaa ja MMJ 3x2,5 S:n kuormituksessa 17,5 ampeerin virtaa. Molemmat lukemat jäivät alle taulukon maksimin. Taulukossa ei ole kuitenkaan huomioitu lämmöneristeen vaikutusta kuormituksen mitoittamiseen. Läpivientejä tehtäessä lämmöneristeen paksuus vähentää johtimien kuormitettavuutta.

7.2 Johdon kuormitettavuus läpiviennin kohdalla

Kaapelit ja putkeen asennetut johtimet eivät saa läpivientejä lukuun ottamatta jäädä kokonaan lämmöneristeen ympäröitäväksi. Kaapelia ei saa asentaa yli 500 mm:n matkalta lämpöä eristävän materiaalin sisään. Kaapeli tai putki tulee asentaa niin, että lämpö pääsee poistumaan joltakin sivulta, koska lämmön siirtyminen pitkittäissuunnassa on vähäistä. Mikäli kaapeli asennetaan lämpöeristettyyn seinään, tulee kaapelin olla kosketuksissa toiselta puoleltaan lämpöä johtavaan seinään. Sama koskee myös asennusputkea. [1.]

Kaapelin tai putken mennessä lämmöneristeen läpi, tulee kaapelin kuormitettavuutta pienentää kertoimella, jonka suuruus riippuu lämmöneristeen lämmönjohtavuudesta ja paksuudesta. Kertoimet on määritelty enintään 500 mm:n läpivienneille ja ne on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Lämmöneristävyyden paksuuden vaikutus kuormitettavuuteen [7].

| Lämmöneristeen paksuuden vaikutus kuormitettavuuteen | |
|--|----------------|
| Lämmöneristeen paksuus, mm | Korjauskerroin |
| 10 | 0,89 |
| 100 | 0,81 |
| 200 | 0,68 |
| 400 | 0,55 |
| 500 | 0,50 |

Taulukon 3 korjauskertoimet soveltuvat enintään 10 mm²:n johdinpinnoille ja lämmöneristeelle, jonka lämmönjohtavuus on suurempi kuin 0,0625 W/Km, Esimerkiksi tavanomaisen vuorivillan lämmönjohtavuus voi olla alle 0,04 W/Km, jolloin lämmönpoistuminen kaapelista on vielä huonompaa ja saattaa olla tarpeen käyttää vieläkin pienempiä kertoimia, kuin taulukossa 3 on esitetty. Kuormitettavuudet lasketaan kaikilla asennustavoilla pinta-asennustavan C mukaisista kuormitusarvoista. [1.]

7.3 Johdon kuormitettavuus läpiviennin kohdalla, korjauskerroin huomioituna

Kuormitettavuudet pitää laskea asennustavan C mukaisista kuormitusarvoista. Taulukoon 4 on laskettu 1,5 mm² ja 2,5 mm² johtimien poikkipinnoille kuormitettavuudet 100-500 mm:n eristepaksuuksilla käyttäen taulukon 2 korjauskerrointa 0,55.

Taulukko 4. Kaapeleiden kuormitettavuudet lämmöneristeissä [7].

| Lämmöneristeen paksuus, mm | Johtimen poikkipinta, mm ² , Cu | Kaksi kuormitettua johdinta, kuormitettavuus (A) |
|----------------------------|--|--|
| 100 | 1,5 | 16,2 |
| 200 | 1,5 | 13,6 |
| 400 | 1,5 | 11,0 |
| 500 | 1,5 | 10 |
| 100 | 2,5 | 23,5 |
| 200 | 2,5 | 19,7 |
| 400 | 2,5 | 15,95 |
| 500 | 2,5 | 14,5 |

Taulukon 4 perusteella poikkipinnaltaan 1,5 mm²:n yksivaiheisen virtapiirin suurin kuormitettavuus 400 mm:n lämmöneristeen vuoksi on 11 A. Poikkipinnaltaan 2,5 mm²:n

yksivaiheisella virtapiirillä ei voi käyttää 16 A:n johdonsuojakatkaisijaa, mikäli lämmöneristeen paksuus on vähintään 400 mm.

Tässä tutkimuksessa käytettiin kuormina MMJ 3x1,5 S:n kuormituksessa 12,2 ampeerin virtaa ja MMJ 3x2,5 S:n kuormituksessa 17,5 ampeerin virtaa. Molemmat lukemat ovat suuremmat kuin taulukossa 3 alennuskertoimilla lasketut kuormitusarvot. Kun vielä huomioidaan tutkimuksessa käytetyn harkon lämmönjohtavuus (0,032W/Km), voidaan todeta käytettyjen virtojen olleet paljon suurempia kuin määräykset sallivat.

8 Kehitysideat

Tutkimuksen tekemisen aikana esille tuli monia, haasteita, puutteita ja parannusideoita, joista osa tarvitsee vielä jatkoselvitystä. Nyt tutkimuksen kohteeksi otettiin ainoastaan Pasiivikivitalot Passiivitriploharkko. Rakentamisessa käytetään paljon muitakin eristeitä ja niistä tehdään yhtä lailla läpivientejä sähköasennusten yhteydessä. Näiden eristeiden tutkiminen samalla menetelmällä kuin tässä tutkimuksessa on tehty, voisi antaa tarpeellista tietoa asennuskaapeleiden johtimien lämmön kehityksestä erilaisissa lämmöneristeissä kovassa kuormitustilanteessa.

Myös tässä tutkimuksessa tuli tutkimusta tehtäessä ideoita, jolla tutkimus olisi voitu tehdä vielä luotettavammin ja todenmukaisemmin, kuin nyt oli mahdollista tehdä. Seuraavana on luetteloitu yhteenveto tämän tutkimuksen ”heikkouksista” ja mitä jatkossa kannattaisi tehdä vielä paremmin vastaavanlaisia mittauksia suoritettaessa.

1. Tutkimuksessa asennuskaapelin kuormitetun johtimen lämpötila mitattiin huoneenlämmössä (noin 20 °C). Sama mittaus olisi hyvä suorittaa niin pakkasella, kuin kovassa kuumuudessakin, esimerkiksi auringonpaisteessa.
2. Mittauksen aikana mitattava harkko ei ollut valettu betonilla, eli se ei täysin vastaa normaalia käyttöolosuhdetta. Nyt osa lämmöstä pääsi siirtymään harkon eristeen kautta suoraan ilmatilaan, kun normaalissa käyttöolosuhteessa lämpö osittain sitoutuu harkossa olevaan betoniin.

3. Normaalikäyttötilanteessa harkon ulkopinnassa on yleensä kojerasia, jossa on pistorasia, johon on kytketty kuorma pistotulpalla. Sisäpinnalla asennuskaapelille on harkkoon tehty ura, jota pitkin se on viety jakorasiaille, ryhmäkeskukselle tai esimerkiksi alakattoon. Nämä toimenpiteet saattavat estää lämmön siirtymistä ilmatilaan, jolloin asennuskaapelin johdin saattaa lämmetä enemmän kuin nyt tehdyssä tutkimuksessa.

9 Yhteenveto

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää yleisimpien asennuskaapeleiden sähköasennusten läpivientien käyttäytyminen kovalla kuormituksella Passiivikivitalot-harkon ulkoseinän eristeen kohdalla. Tutkittaviksi asennuskaapeleiksi valittiin yleisimmin omakotitalojen sähköasennuksissa käytetyt asennuskaapelit, jotka ovat MMJ 3x1,5 S ja MMJ 3x 2,5 S.

Asennuskaapeleista haluttiin selvittää kuormitettavan johtimen lämpötila maksimikuormituksella asennuskaapelin ollessa eristeharkon sisällä. Olosuhteet pyrittiin luomaan mahdollisimman todennukaisiksi, jotta tutkimuksen tulokset olisivat luotettavia. Molempien asennuskaapeleiden nollajohtimien lämpötilat mitattiin harkon eristetilassa kahdella eri asennusmenetelmällä, joita on mahdollista käyttää myös todellisissa tilanteissa.

Asennuskaapeleiden johtimia kuormitettiin niin kauan, kuin kuormitettavan johtimen lämpötila nousi, jotta voitiin varmistaa, mikä on korkein johtimen lämpötila, joka on saatavuttavissa kyseisellä kuormituksella. Neljässä ensimmäisessä kuormitustilanteessa, eri asennustavat ja asennuskaapeleiden johtimien poikkipinta-alat huomioon ottaen, ei kuormitettavien johtimien lämpötila noussut yli sallitun +70 °C:n. Viidennessä mittauksessa, jossa johdonsuojana käytettiin 20 ampeerin johdossuojaa, päästiin 86,4 celsiusasteen lämpötilaan.

Lähteet

- 1 Tiainen, Esa ; Metsikkö, Arja. 2012. D1-2012. Käsikirja rakennusten sähkö-asennuksista. Espoo: Sähköinfo; Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto. Passiivikivitalot, seinärakenne, <http://passiivikivitalot.fi/miksi-passiivikivitalot/seinarakenne>, luettu 10.2.2015
- 2 Neopro, neopor materiaali, <http://www.neopro.fi/tuotteet/neopor-materiaali/>, luettu 12.3.2015
- 3 Neopor materiaali. 2015. Neopro, <http://www.neopro.fi/tuotteet/neopor-materiaali/>, Luettu 12.3.2015 Reka Kaapeli Oy, MMJ-asennuskaapeli, http://www.reka.fi/products/reko/MMJ_300_Asennuskaapeli, luettu 21.4.2015
- 4 Laakkonen Arto. Kuvakokoelma.
- 5 MMJ-asennuskaapeli. 2015. Verkkodokumentti. Reka Kaapeli Oy. http://www.reka.fi/products/reko/MMJ_300_Asennuskaapeli, Luettu 21.4.2015
- 6 Testo 925, lämpömittari. Käyttöohje.
- 7 SFS-Käsikirja 600-1. Sähköasennukset. Osa 1: SFS 6000. Pienjännitesähkö-asennukset 2012.
- 8 Johdonsuojakatkaisijat. 2015. Tekniset tiedot. Verkkodokumentti. Hager Group. <http://84.234.69.229/sites/default/files/attachments/johdonsuojakatkaisijat-tekniset-tiedot-11fi0211.pdf> Luettu 5.5.2015